

БАРЫШНИКОВ ЛЕОНИД ПОЛЕВИЧ

**ПЕРЕДАЧА ИНФОРМАЦИИ В ГОРОДСКИХ СИСТЕМАХ
ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ, МОНИТОРИНГА И ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ
ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ МАЛОМОЩНОЙ
РЕТРАНСЛЯЦИОННОЙ СЕТИ**

Специальность 05.12.13 – Системы, сети и устройства
телекоммуникаций

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Казань - 2002

Научный руководитель:

Заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук,
профессор Я.С. Урецкий

Научный консультант:

кандидат технических наук
П.В. Купершмидт

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических
наук, профессор В.В. Сидоров,
доктор технических наук,
профессор В.А. Белавин

Ведущая организация:

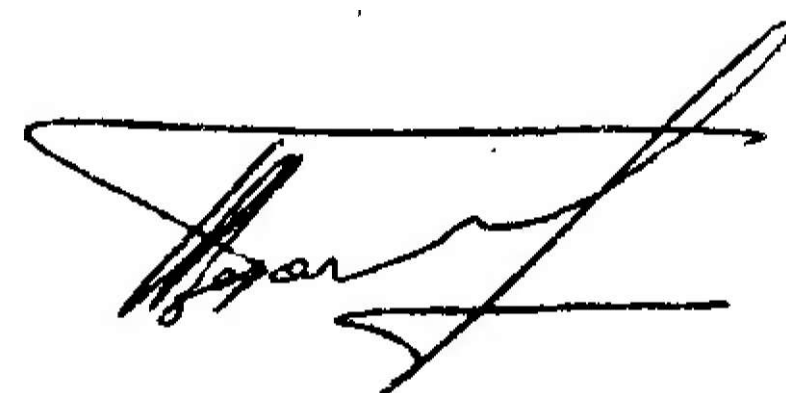
Институт проблем информатики
АН РТ, г. Казань

Защита состоится 28 января 2003 г. в 15 часов
на заседании диссертационного совета Д 212.079.03
при Казанском государственном техническом университете
им. А.Н. Туполева по адресу: 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета

Автореферат разослан «19» декабря 2002 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук,
профессор



Г.И. Щербаков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Радиотехническим средствам позиционирования, мониторинга и диспетчеризации подвижных объектов отводится важная роль при организации работы различных городских служб и ведомств, осуществляющих пассажирские и грузовые перевозки, охрану правопорядка, защиту окружающей среды, оказание скорой медицинской помощи, ликвидацию последствий чрезвычайных ситуаций и другие функции.

С учетом возрастающих требований к безопасности электромагнитного излучения и экономному использованию радиочастотного пространства, подобные системы должны быть малоэнергетическими, т.е. мощность излучаемых сигналов в диапазоне дециметровых волн не должна превышать единиц-десятков милливатт. Указанные ограничения, а также многолучевой характер распространения электромагнитных волн в условиях городской застройки свидетельствуют о целесообразности применения метода перекрывающихся зон, заключающегося в размещении на обслуживаемой территории сравнительно большого числа маломощных опорных станций с частично перекрывающимися зонами действия, с помощью которых осуществляют регистрацию сигналов подвижных объектов и передачу соответствующей информации на диспетчерский пункт, определение местоположения подвижных объектов в котором производят на основе полученных с опорных станций данных о регистрации подвижных объектов.

Передачу информации с опорных станций на диспетчерский пункт можно организовать с помощью уже развернутых систем, например, телефонной сети общего пользования или сотовых систем радиосвязи, однако, поскольку опрос опорных станций необходимо производить с регулярностью порядка одного раза в секунду, применение этих систем неэффективно в силу высокой стоимости трафика.

В связи с этим перспективной является разработка маломощной ретрансляционной сети на основе последовательной передачи информации по радиоканалу от станции к станции. Такой подход позволяет обеспечить малый уровень излучаемой мощности, упростить конструкцию опорных станций за счет использования одной ненаправленной антенны для связи с подвижными объектами и соседними опорными станциями и сократить время ввода системы в эксплуатацию. Однако вопросы, связанные с рациональной организацией подобных систем и их интеграции в существующую городскую телекоммуникационную инфраструктуру, изучены недостаточно, что сдерживает развитие систем позиционирования, мониторинга и диспетчеризации подвижных объектов на основе маломощной ретрансляционной сети и определяет актуальность диссертационных исследований.

Целью работы является повышение эффективности систем позиционирования, мониторинга и диспетчеризации подвижных объектов в условиях города, причем эффективность учитывает уровень излучаемой мощности, а следовательно, электромагнитную безопасность, возможности массового использова-

ния и оперативного ввода в эксплуатацию, приспособленность к модернизации и другие характеристики систем.

Для достижения этой цели в диссертации решена задача разработки методов и средств передачи информации в системах позиционирования, мониторинга и диспетчеризации подвижных объектов на основе маломощной ретрансляционной сети, включающая частные задачи:

- рациональной организации систем на основе маломощной ретрансляционной сети;
- повышения эффективности сети на основе применения волновых методов передачи информации;
- интеграции систем в городскую телекоммуникационную инфраструктуру на основе обобщенного описания систем и задач.

Методы исследований. Теоретические результаты получены с использованием методов системного анализа и системотехники, теорий вероятностей, статистической радиотехники, теорий информации и оптимального распределения ресурсов сетей. Результаты компьютерного моделирования базируются на современных программных пакетах Delphi и Mathcad.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем.

1. Проведен анализ зависимости надежности функционирования системы от маршрутов передачи информации с опорных станций на диспетчерский пункт. Показано, что в сетях с ячейками, представляющими собой равные правильные фигуры, наибольшая надежность достигается на наикратчайших маршрутах, протяженность каждого из которых равна протяженности маршрута, проходящего через опорные станции, лежащие на сторонах параллелограмма, диагональю которого является отрезок, соединяющий данную опорную станцию с диспетчерским пунктом.

2. Исследованы возможности волновой передачи информации в маломощных ретрансляционных сетях. Установлено, что передачу информации от станции-источника без заикливания по всем радиальным направлениям можно обеспечить с помощью временного и частотного методов: в первом случае защита от заикливания достигается посредством блокировки опорных станций на заданный интервал времени после передачи информации, во втором – посредством монотонного изменения частот передачи опорных станций по радиальным направлениям от станции-источника.

3. Исследованы информационные характеристики сетей с волновой передачей информации. Показано, что среднюю скорость волновой передачи информации на основе временного метода можно определить путем вычисления среднего числа тактов последовательной передачи информации как функции вероятностей правильного приема каждой станции при передаче сигналов с любой другой и пространственно-энергетических параметров сети.

4. Проведено обобщенное описание телекоммуникационных систем с целью их интеграции. Показано, что обобщенное описание результирующей телекоммуникационной системы определяется обобщенными описаниями интегрируемых телекоммуникационных систем, причем, если системы принадлежат одной и той же надсистеме, то интеграция целесообразна при условии, что

эффективность результирующей системы превысит эффективность отдельного использования систем; если же системы принадлежат различным надсистемам, то интеграция систем целесообразна при условии, что эффективности каждой из надсистем после интеграции возрастут; при этом множество вариантов решения задачи интеграции зависит, в частности, от степени взаимопроникновения структур систем, которая характеризуется суммой отношений числа трансформируемых вершин и ребер графа структуры каждой из интегрируемых систем к общему числу вершин и ребер этого графа.

Практическая ценность работы. Полученные результаты позволяют повысить эффективность городских систем позиционирования, мониторинга и диспетчеризации подвижных объектов. В частности, передача информации от опорных станций на диспетчерский пункт по наикратчайшим маршрутам позволяет повысить надежность системы. Волновые методы передачи информации также существенно увеличивают надежность системы и, кроме того, позволяют улучшить ее масштабируемость и упростить ввод системы в эксплуатацию. Предложенный подход к решению задачи интеграции разрабатываемой системы в существующую городскую телекоммуникационную инфраструктуру открывает возможности для повышения эффективности применяемых радиоэлектронных средств.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы обсуждались на следующих конференциях: Международная конференция по телекоммуникациям IEEE/ICC2001, С.-Петербург, 2001; II Международная научно-практическая конференция «Автомобиль и техносфера», Казань, 2001; VII Международная научно-техническая конференция «Радиолокация, навигация, связь», Воронеж, 2001; VIII Международная научно-техническая конференция «Радиолокация, навигация, связь», Воронеж, 2002; Международный симпозиум «Надежность и качество - 2002», II Всероссийская научно-техническая конференция «Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике», Пенза 2002; Юбилейная VIII Санкт-Петербургская Международная конференция «Региональная информатика-2002», С.-Петербург, 2002.

Реализация результатов работы. Результаты диссертационной работы были использованы в Казанском филиале ФГУП «Радиочастотный центр Приволжского федерального округа» при анализе возможностей модернизации существующих телекоммуникационных систем и их интеграции в городскую инфраструктуру, в ОАО «Радиоприбор», Казань, при разработке систем мониторинга транспортных средств, а также в учебном процессе Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева на кафедре радиозлектронных и телекоммуникационных систем при подготовке специалистов по направлению «Средства связи с подвижными объектами».

Личный вклад. Диссертационная работа выполнена автором самостоятельно, изложенные в ней и выносимые на защиту результаты получены диссертантом лично. Непосредственно автором рассмотрены вопросы рациональной организации передачи информации по сети и повышения надежности ее функционирования; проанализированы особенности маршрутизации на основе частотно-территориального планирования; описаны волновые методы передачи

информации и для систем, реализующих эти методы, получены оценки средней скорости волновой передачи информации; исследованы возможности интеграции системы в городскую телекоммуникационную инфраструктуру.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 21 печатная работа, в том числе 2 статьи, 9 докладов и тезисов докладов в трудах международных и российских конференций, 5 патентов РФ на изобретение и 5 свидетельств РФ на полезную модель.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Она изложена на 171 странице и содержит 32 рисунка. Список использованной литературы включает 118 пунктов.

Научные положения, выносимые на защиту. На защиту выносятся следующие научные положения, выдвигаемые на основе полученных в диссертационной работе результатов.

1. В сетях с ячейками, представляющими собой равные правильные фигуры, наибольшая надежность передачи информации достигается на наикратчайших маршрутах, протяженность каждого из которых равна протяженности маршрута, проходящего через опорные станции, лежащие на сторонах параллелограмма, диагональю которого является отрезок, соединяющий данную опорную станцию с диспетчерским пунктом.

2. В маломощных ретрансляционных сетях передачу информации от станции-источника без закливания по всем радиальным направлениям можно обеспечить с помощью временного и частотного методов: в первом случае защита от закливания достигается посредством блокировки опорных станций на заданный интервал времени после передачи информации, во втором — посредством монотонного изменения частот передачи опорных станций по радиальным направлениям от станции-источника.

3. Среднюю скорость волновой передачи на основе временного метода можно определить путем вычисления среднего числа тактов последовательной передачи информации как функции вероятностей правильного приема каждой станции при передаче сигналов с любой другой и пространственно-энергетических характеристик сети.

4. При интеграции телекоммуникационных систем обобщенное описание результирующей системы определяется обобщенными описаниями интегрируемых систем, причем, если эти системы принадлежат одной и той же надсистеме, то их интеграция целесообразна при условии, что эффективность результирующей системы превысит эффективность раздельного использования систем; если же системы принадлежат различным надсистемам, то интеграция систем целесообразна при условии, что эффективности каждой из надсистем после интеграции возрастут; при этом множество вариантов решения задачи интеграции зависит, в частности, от степени взаимопроникновения структур систем, которая характеризуется суммой отношений числа трансформируемых вершин и ребер графа структуры каждой из интегрируемых систем к общему числу вершин и ребер этого графа.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность задачи разработки городских систем позиционирования, мониторинга и диспетчеризации подвижных объектов на основе маломощной ретрансляционной сети, сформулированы цель работы и задача исследований. Приведены сведения о структуре диссертации и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведены требования, предъявляемые к городским системам позиционирования, мониторинга и диспетчеризации подвижных объектов, которые указывают на целесообразность измерения координат подвижных объектов с помощью метода перекрывающихся зон. Проведен анализ возможностей применения современных методов и средств передачи информации с опорных станций на диспетчерский пункт, исходя из которого сделан вывод о необходимости разработки маломощной ретрансляционной сети на основе последовательной передачи информации от станции к станции по радиоканалу. Сформулирована задача исследований.

Задачи различных городских служб и ведомств требуют создания радиотехнических систем позиционирования, мониторинга и диспетчеризации подвижных объектов. Подобные системы должны обеспечивать определение местоположения подвижных объектов в условиях города и передавать соответствующую информацию на диспетчерский пункт с целью обработки и выдачи диспетчерских указаний.

Основные требования, предъявляемые к таким системам, связаны с числом подвижных объектов (при массовом использовании десятки тысяч); с размером и характером обслуживаемой территории (десятки-сотни квадратных километров городской застройки); с точностью местопредопределения (не хуже 50 м); с уровнем излучаемой мощности (не более единиц-десятков милливатт в дециметровом диапазоне длин волн) и режимом передачи информации (информация о местоположении подвижных объектов с учетом скорости перемещения объектов должна обновляться примерно один раз в секунду).

Указанные требования свидетельствуют о целесообразности измерения координат подвижных объектов с помощью метода перекрывающихся зон, заключающегося в том, что на обслуживаемой территории размещают сравнительно большое число (при заданной точности позиционирования единицы-десятки тысяч) маломощных опорных станций с перекрывающимися зонами действия, с помощью которых осуществляют регистрацию сигналов подвижных объектов и передачу соответствующей информации на диспетчерский пункт, на котором осуществляют определение местоположения подвижных объектов.

При соответствующем размещении опорных станций данный метод обеспечивает заданную точность измерений, удовлетворяет требованиям по уровню излучаемой мощностью и характеризуется сравнительной простотой конструкций опорных и подвижных станций. Кроме того, системы на основе метода перекрывающихся зон образуют маломощные ретрансляционные сети, дающие возможности организовать доставку информации с опорных станций на диспетчерский пункт путем последовательной передачи по радиоканалу от станции

к станции. Это позволяет без существенного усложнения аппаратуры опорных станций избежать применения телефонной сети общего пользования, сотовых и спутниковых систем радиосвязи и других телекоммуникационных систем, не учитывающих специфику указанных требований.

Применение телефонной сети общего пользования нецелесообразно из-за необходимости организации выделенных каналов связи, что существенно повышает стоимость трафика; использование сотовых систем радиосвязи также затруднено главным образом по той же причине. Спутниковые системы радиосвязи являются дорогостоящими. Возможности современных систем на основе проводных линий связи, например, систем семейства xDSL или технологий SDH и ATM, перекрывают потребности решаемых задач по скорости и объему передаваемой информации, однако высокая стоимость развертывания этих систем сдерживает их применение. Вместе с тем совместное применение мало-мощной ретрансляционной сети и других технологий передачи информации или их интеграция зачастую эффективны.

Заданная точность позиционирования подвижных объектов, ограничения на максимальную мощность излучаемых сигналов и способ размещения опорных станций определяют координаты (x_n, y_n) опорных станций в предположении, что обслуживаемая территория представляет собой плоскую поверхность; $n = \overline{1, N}$, где N — общее число опорных станций. При этом диспетчерский пункт имеет фиксированные координаты (x_D, y_D) , определяемые на этапе проектирования системы.

В процессе работы системы каждая опорная станция формирует информационный поток $I_n(M, \mu_n(t))$, определяемый общим количеством M обслуживаемых подвижных объектов и числом $\mu_n(t)$ подвижных объектов, регистрируемых данной опорной станцией в единицу времени.

Максимальный информационный поток $I_{nv\max}$, проходящий через канал связи, образованный между двумя опорными станциями n и v , определяется пропускной способностью C_{nv} этого канала: $C_{nv} \geq I_{nv\max}$.

Способ \mathcal{R} передачи информации, применяемый в системе, определяется главным образом методом множественного доступа; совокупностью маршрутов передачи информации с опорных станций на диспетчерский пункт; наличием или отсутствием синхронизма в системе (синхронный — асинхронный).

Множество C пропускных способностей C_{nv} каналов связи и принятый способ \mathcal{R} передачи информации обусловлены требуемыми качеством передачи информации и быстродействием системы.

Качество передачи информации может определяться, например, вероятностью B возникновения ошибки при приеме сигналов на диспетчерском пункте; быстродействие — временем T опроса всех опорных станций, связанное с максимальной скоростью V_{\max} подвижных объектов, при которой погрешность измерений координат не превышает заданную величину. С реализацией множества C пропускных способностей C_{nv} системы и способа \mathcal{R} передачи информации связаны затраты Z .

Таким образом, задача разработки системы позиционирования, мониторинга и диспетчеризации подвижных объектов на основе мало-мощной ретрансляционной сети состоит в том, чтобы для заданных координат (x_n, y_n) множества опорных станций, формирующих информационные потоки $I_n(M, \mu_n(t))$, определить координаты (x_D, y_D) диспетчерского пункта, множество C пропускных способностей C_{nv} и способ \mathcal{R} передачи информации, при которых

$$B \leq B_{\max}, \quad (1)$$

$$T \leq T_{\max}(V_{\max}), \quad (2)$$

$$Z \rightarrow \min. \quad (3)$$

Вторая глава посвящена анализу информационных характеристик сети, а также формулировке и поиску путей решения задачи оптимального планирования ресурсов сети. Исследованы возможности повышения надежности системы на основе рационального выбора маршрутов передачи информации.

Проведен анализ систем позиционирования, мониторинга и диспетчеризации систем, базирующихся на применении метода перекрывающихся зон, показано, что информационный поток, формируемый каждой опорной станцией при передаче информации с опорных станций на диспетчерский пункт, является функцией числа подвижных объектов и скорости их перемещения, а также числа опорных станций и параметров их взаимного расположения, которые, в свою очередь, определяются заданной точностью позиционирования подвижных объектов.

Описание системы при последовательной передаче информации от станции к станции основано на использовании модели сети, характеризующейся множествами V вершин, L дуг и C пропускных способностей. Множеству V соответствует множество опорных станций, включая диспетчерский пункт; множествам L и C — каналы связи, соединяющие соседние опорные станции, и соответствующие значения пропускных способностей. При этом множество V содержит подмножества S , R и Q , элементам которых соответствуют блоки приема сигналов подвижных объектов и ретрансляционные блоки опорных станций и диспетчерский пункт (один или несколько).

Задача оптимального планирования ресурсов сети заключается в том, что необходимо задать такие пропускные способности C_p дуг сети, при которых затраты на их обеспечение минимальны:

$$Z_{\min} = \min_p \sum_p z(c_p), \quad (4)$$

При этом должны выполняться условия

$$\sum_{p \in G(n)} u_p - \sum_{p \in F(n)} u_p = \begin{cases} J, & n \in S; \\ 0, & n \in R; \\ -NJ, & n \in Q, \end{cases} \quad (5)$$

где J – информационный поток, формируемый каждой опорной станцией; $F(n)$ и $G(n)$ – множества дуг, входящих в вершину v_n и выходящих из нее; u_p – соответствующие дуговые потоки, причем

$$u_p \leq c_p. \quad (6)$$

Данная задача относится к задачам транспортного типа, решение которых основано на применении методов математического программирования. В тех случаях, когда поиск оптимального распределения ресурсов затруднен, приемлемые результаты обеспечивают приближенные решения, учитывающие специфику задачи.

Исследованы возможности повышения надежности функционирования системы на основе рационального выбора маршрутов передачи информации с опорных станций на диспетчерский пункт.

При условии, что отказы различных опорных станций являются независимыми событиями, надежность (вероятность безотказной работы) передачи информации по ξ -му маршруту, образованному вершинами $(v_{n_1}, v_{n_2}, \dots, v_{n_{W+1}})$, полностью определяется надежностью соответствующих опорных станций и равна

$$p^{(\xi)} = \prod_{w=1}^{W+1} p_{n_w}^{(\xi)}, \quad (7)$$

где $p_{n_w}^{(\xi)}$ – надежность v_{n_w} -й опорной станции, принадлежащей ξ -му маршруту; W – число опорных станций, исключая диспетчерский пункт, образующих маршрут передачи информации.

Из выражения (7) следует, что для повышения надежности передачи информации необходимо при прочих равных условиях сокращать протяженности маршрутов, т.е. для каждой пары вершин n и v минимизировать величину W :

$$\min_n W^{nv}. \quad (8)$$

Решение этой задачи в общем виде основано на применении алгоритмов Дейкстры. Вместе с тем показано, что в сетях с ячейками, представляющими собой равные правильные фигуры, наибольшая надежность достигается на кратчайших маршрутах, протяженность каждого из которых равна протяженности маршрута, проходящего через опорные станции, лежащие на сторонах параллелограмма, диагональю которого является отрезок, соединяющий данную опорную станцию с диспетчерским пунктом.

В частности, при размещении опорных станций в узлах сетки с равными квадратными ячейками размером $d \times d$ минимальная протяженность маршрута, связывающего n -ю и v -ю опорные станции, определяется формулой

$$L^{nv} = |x_n - x_v| + |y_n - y_v|, \quad (9)$$

где (x_n, y_n) и (x_v, y_v) – координаты соответствующих станций, причем число вершин, образующих данный маршрут передачи информации, равно

$$W^{nv} = \frac{L^{nv}}{d}. \quad (10)$$

Аналогичные выражения получены для схем размещения опорных станций в вершинах равных правильных треугольников и шестиугольников, плотно покрывающих плоскость.

Возможности дальнейшего повышения надежности функционирования системы связаны с таким размещением диспетчерского пункта на обслуживаемой территории, при котором суммарная протяженность маршрутов передачи информации, выраженная в количестве соответствующих опорных станций, минимальна. Эта задача является частным случаем задач поиска центров и медиан сети, решение которых базируется на методах Данцига, Флойда и др.

Третья глава посвящена повышению эффективности маломощной ретрансляционной сети на основе применения волновых методов передачи информации. Рассмотрены возможности маршрутизации в сети с использованием частотно-территориального планирования. Описаны волновые методы передачи информации, а также определены и исследованы функции зависимости средней скорости волновой передачи информации от пространственно-энергетическими параметров системы.

Задача сокращения времени опроса опорных станций требует одновременной передачи и приема сигналов на промежуточных опорных станциях, т.е. ретрансляции, в связи с чем частоты передачи и приема каждой опорной станции должны различаться. При использовании ненаправленных антенн это приводит к необходимости частотно-территориального планирования, особенности которого обусловлены весьма плотным размещением большого числа опорных станций.

С частотно-территориальным планированием связаны также возможности маршрутизации в сети. Показано, что передачу информации по фиксированным маршрутам можно обеспечить путем задания на каждой опорной станции рабочих частот приема, соответствующих частотам передачи соседних опорных станций, находящихся по маршруту передачи информации ближе к станции-источнику передаваемой информации. Приведены примеры частотно-территориального планирования при размещении опорных станций в вершинах равных правильных шестиугольников, плотно покрывающих плоскость, длины сторон которых равны дальности действия опорных станций.

Системы с маршрутизацией на основе частотно-территориального планирования характеризуются высокой пропускной способностью, однако такие системы плохо приспособлены к модернизации и требуют тщательной настройки, что снижает их эффективность. С целью улучшения этих показателей предложены волновые методы, заключающиеся в том, что информацию, переданную со станции-источника, принимают на соседних опорных станциях, затем информацию, переданную с этих станций, принимают на станциях соседних, по отношению к ним, и так далее последовательно по всем направлениям от станции-источника к границам обслуживаемой территории.

Такой подход не требует частотно-территориального планирования, а следовательно, улучшает масштабируемость сети и упрощает ввод системы в эксплуатацию. Вместе с тем при волновой передаче информации возможно заикливание, для защиты от которого предложены временной и частотные методы.

Временной метод основан на блокировке каждой из опорных станций на определенное время после передачи очередного радиосигнала и позволяет всем станциям передавать сигналы на одной рабочей частоте, что упрощает реализацию системы, однако существенно снижает скорость передачи информации. Для борьбы с замираниями, обусловленными интерференцией электромагнитных волн, можно использовать расширение спектра, пространственное и частотное разнесения и другие методы.

Более эффективным с позиций сокращения времени передачи информации с опорных станций является частотный метод, при котором защита от закливания обеспечивается путем монотонного изменения частот передачи опорных станций по радиальным направлениям от станции-источника, например, по линейному закону

$$f_w = f_0 + wF, \quad (11)$$

где w – номер опорной станции, отсчитываемый от станции-источника по любому из радиальному направлению, $w = \overline{1, W}$; f_w – частота сигналов, излучаемых с w -й станции; f_0 – частота сигнала, излучаемого со станции-источника; F – заданный частотный интервал.

Данный метод требует значительных частотных ресурсов, сократить которые можно путем изменения частоты f_w по периодическому закону в зависимости от удаления от станции источника:

$$f_w = f_0 + \left(w - \text{int} \left(\frac{w}{W'} \right) W' \right) F, \quad (12)$$

где W' – период – минимальное число опорных станций, измеряемое вдоль соответствующего радиального направления, в пределах которого рабочие частоты не повторяются; $\text{int}(\cdot)$ – операция округления числа путем отсечения дробной части.

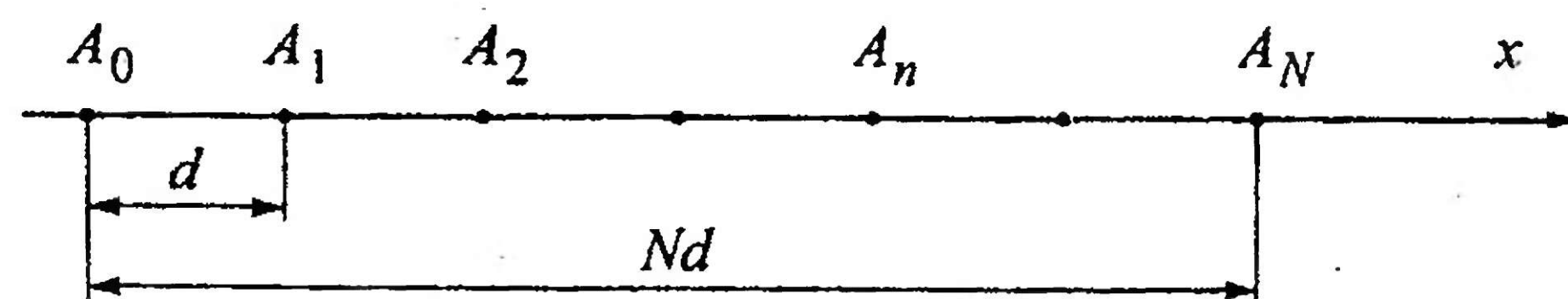


Рис. 1

Исследована зависимость скорости волновой передачи информации от пространственно-энергетических параметров сети, причем, поскольку наибольшее уменьшение скорости передачи информации происходит при временном методе защиты от закливания, эти исследования проведены для данного случая. С учетом того, что зоны действия опорных станций в условиях города испытывают случайные флуктуации, для анализа информационных характеристик применены вероятностные модели и установлено следующее.

При волновой передаче информации со станции A_0 (рис. 1) вероятность того, что станция A_N осуществит безошибочный прием соответствующих сигналов на s -м такте, равна

$$P_N^s = \sum_{q_1=0}^{N-1} \sum_{k_1=1}^{C_{N-1}^{q_1}} \sum_{q_2=0}^{n_2-1} \sum_{k_2=1}^{C_{n_2-1}^{q_2}} \dots \sum_{q_{s-1}=0}^{n_{s-1}-1} \sum_{k_{s-1}=1}^{C_{n_{s-1}-1}^{q_{s-1}}} P_{q_s k_s} \left\{ 1 - \prod_{i_s=1}^{q_{s-1}} (1 - P_{i_s-1}^N) \right\}, \quad (13)$$

где

$$P_{q_s k_s} = P_{q_{s-1} k_{s-1}} \prod_{i_{s-1}=1}^{q_{s-1}} (1 - P_{i_{s-1} N}) \prod_{i_s=1}^{q_s} \left\{ 1 - \prod_{i_{s-1}=1}^{q_{s-1}} (1 - P_{i_{s-1} i_s}^{k_s}) \right\} \prod_{j_s \neq i_s}^{n_s-1-q_{s-1}} \left\{ \prod_{i_{s-1}=1}^{q_{s-1}} (1 - P_{i_{s-1} j_s}^{k_s}) \right\}, \quad (14)$$

$$n_s = n_{s-1} - q_{s-1}. \quad (15)$$

Здесь n_s – количество опорных станций, не излучавших сигналы в течение тактов, предшествующих s -му; i_s и j_s – номера станций (кроме N -й), зарегистрировавших и не зарегистрировавших сигналы, излучаемые на s -м такте соответственно; $i_s = \overline{1, q_s}$, $j_s = \overline{1, (n_s - q_s - 1)}$; k_s – номер одной из комбинаций, которые порождают возможные сочетания $n_s - 1$ станций по q_s на s -м такте; q_s – число станций, безошибочно принявших сигналы на s -м такте; $P_{i_{s-1} i_s}^{k_s}$ – для i_s -й из q_s станций вероятность безошибочного приема сигналов, переданных станциями, принявших сигналы на $(s-1)$ -м такте; $P_{i_{s-1} j_s}^{k_s}$ – для j_s -й из $n_s - q_s - 1$ станций вероятность безошибочного приема сигналов, переданных станциями, принявших сигналы на $(s-1)$ -м такте; $s = \overline{1, N}$.

Вероятность безошибочного приема определяется применяемыми способами кодирования и модуляции сигналов, особенностями обработки сигналов при приеме, отношением сигнал-шум на входе приемника и другими факторами. Если передаваемый сигнал представляет собой одиночный радиоимпульс, то с учетом релейской модели замирания и оптимального приема сигналов вероятность безошибочного приема можно определить на основе использования известных соотношений:

$$P_D = P_F^{1/\left(1 + \frac{k_0 P_0}{P_w} \left(\frac{r}{r_0}\right)^b\right)}. \quad (16)$$

где P_w – мощность шума на входе приемника; P_F – вероятность ложной тревоги; r – расстояние между опорными станциями, зависящее от их координат; r_0 – некоторое эталонное расстояние от опорной станции, относительно которого оценивают ослабление интенсивности сигнала; $k_0 = \lambda^2 / (4\pi r_0^2)$, где λ – длина волны; $b = 2 \dots 4$ – показатель степени, зависящий от частоты, особенностей городской застройки и других факторов.

События, состоящие в том, что информация, переданная со станции A_0 , достигнет станцию A_N в течение одного из N тактов либо не достигнет этой станции вообще, образуют полную группу несовместных событий. В связи с этим средняя скорость передачи информации при фиксированной длительности τ_c сигнала равна

$$\bar{v} = \frac{1}{\tau_c} \sum_{s=1}^N \frac{1}{s} P_N^s. \quad (17)$$

Выражения (13) – (17) справедливы для произвольного размещения опорных станций и получены из предположения, что опорные станции являются многоканальными и их частоты передачи не совпадают.

Для исследования полученных зависимостей проведено компьютерное моделирование, результаты которого иллюстрирует рис. 2. На нем изображены графики зависимостей вероятностей P_N^s и $\bar{\nu}\tau_c$ от мощности P_0 излучаемых сигналов для всех $s = \overline{1, N}$ при линейном эквидистантном размещении $N = 7$ опорных станций с интервалом $d = 150$ м; $P_{\text{ш}} = 10^{-12}$ Вт; $P_F = 10^{-8}$; $b = 3$.

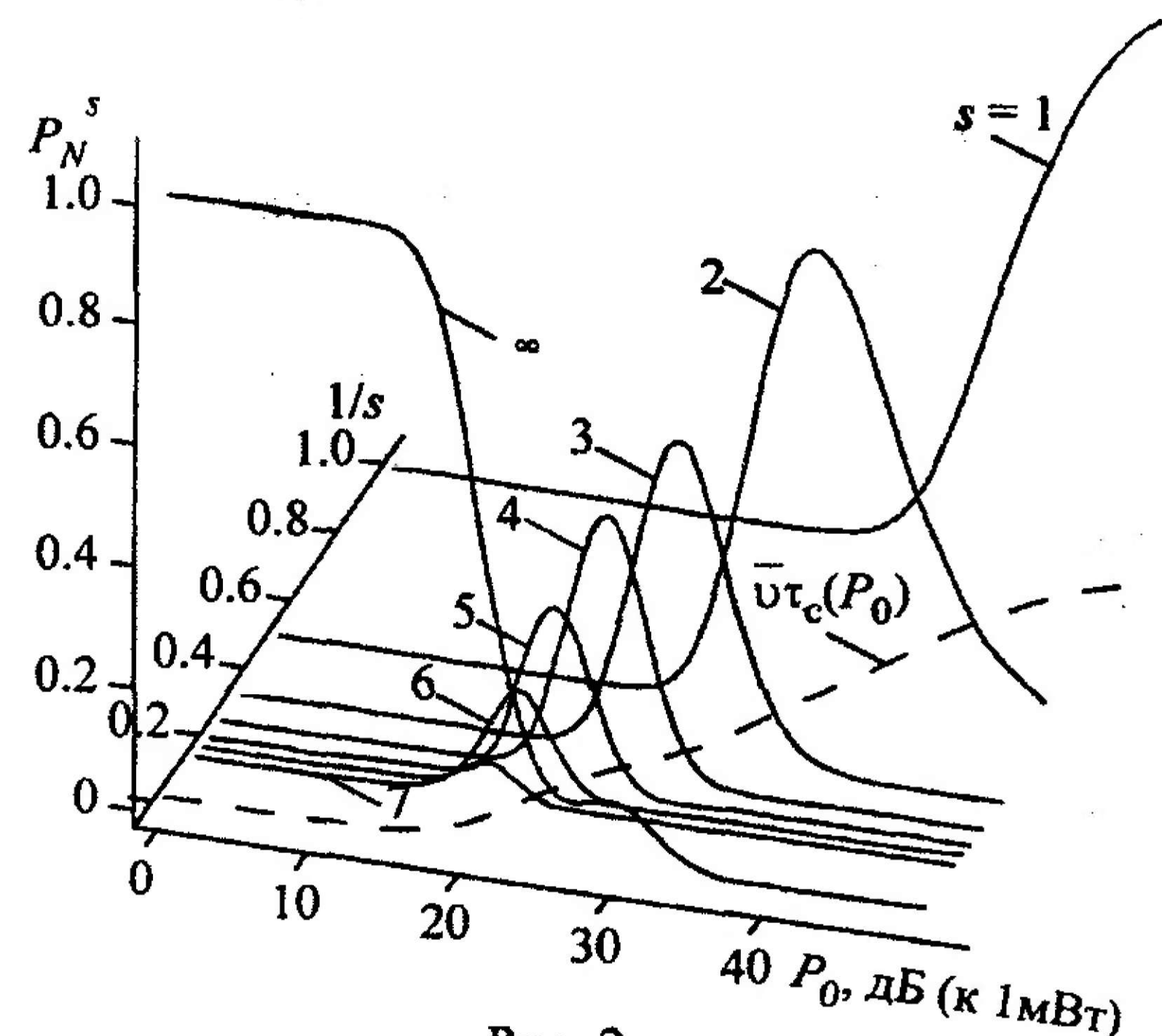


Рис. 2

Как видно из рис. 2, с увеличением мощности P_0 излучаемых сигналов средняя скорость передачи информации растет, что связано с уменьшением числа тактов последовательной передачи информации. В целом, анализ результатов компьютерного моделирования свидетельствует о достоверности полученных соотношений.

В четвертой главе исследованы возможности интеграции систем позиционирования, мониторинга и диспетчеризации подвижных объектов на основе маломощной ретрансляционной сети в существующую городскую инфраструктуру радиоэлектронных средств. С использованием обобщенного иерархического функционально-морфологического праксеологического описания систем и задача сформулирована задача интеграции и рассмотрены особенности интеграции разрабатываемой сети с сотовыми и пейджинговыми системами подвижной радиосвязи.

Обеспечение эффективной и бесконфликтной работы систем позиционирования, мониторинга и диспетчеризации подвижных объектов в условиях города связано с необходимостью интеграции этих систем в существующую телекоммуникационную инфраструктуру, однако вопросы, касающиеся теории интеграции телекоммуникационных систем, исследованы недостаточно.

Наиболее перспективный подход к формулировке и решению подобных задач основан на обобщенном иерархическом функционально-морфологическом праксеологическом описании систем и задач, причем, в отличие от ряда работ, в которых с использованием данного подхода интеграцию описывают как взаимодействие систем, в данной диссертации интеграция понимается как объединение, слияние систем, что повышает результативность исследований.

В связи с этим проведено обобщенное иерархическое функционально-морфологическое праксеологическое описание интегрируемых телекоммуникационных систем. Показано, что обобщенное описание результирующей телекоммуникационной системы определяется обобщенными описаниями интегрируемых телекоммуникационных систем, причем, если системы принадлежат одной и той же надсистеме, то их интеграция целесообразна при условии, что эффективность результирующей системы превысит эффективность раздельного использования систем; если же системы принадлежат различным надсистемам, то интеграция систем целесообразна при условии, что эффективности каждой из надсистем после интеграции возрастут.

Проведено обобщенное иерархическое функционально-морфологическое праксеологическое описание задачи интеграции, которая сформулирована как задача создания новой системы из двух (нескольких) данных в условиях ряда ограничений. Показано, что множество вариантов решения этой задачи зависит, в частности, от степени взаимопроникновения структур систем, которая характеризуется суммой отношений числа трансформируемых вершин и ребер графа структуры каждой из интегрируемых систем к общему числу вершин и ребер этого графа.

Частным случаем этой задачи является интеграция создаваемой системы в уже существующую систему. На примерах интеграции разрабатываемой системы позиционирования, мониторинга и диспетчеризации подвижных объектов с сотовой и пейджинговой системами показано, что в первом случае структуру разрабатываемой системы следует согласовать со структурой сотовой сети, во втором, наоборот, один из вариантов интеграции приводит к формированию многозоновой пейджинговой системы. Эти примеры свидетельствуют о том, что невозможно без всестороннего описания интегрируемых систем определить заранее степень их изменения.

В Заключении приведены основные результаты диссертационной работы, показывающие, что частные задачи диссертационной работы, заключающиеся в рациональной организации систем на основе маломощной ретрансляционной сети, повышении эффективности сети на основе применения волновых методов передачи информации и интеграции систем в городскую телекоммуникационную инфраструктуру на основе обобщенного описания систем и задач, решены, а следовательно, решена задача исследований, заключающаяся в разработке методов и средств передачи информации в системах позиционирования, мониторинга и диспетчеризации подвижных объектов на основе маломощной ретрансляционной сети.

Приложения содержат акты об использовании результатов диссертационной работы и листинги программ для компьютерного моделирования.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Проведен анализ зависимости надежности функционирования системы от маршрутов передачи информации с опорных станций на диспетчерский пункт. Показано, что в сетях с ячейками, представляющими собой равные правильные фигуры, наибольшая надежность достигается на наикратчайших маршрутах, протяженность каждого из которых равна протяженности маршрута, проходящего через опорные станции, лежащие на сторонах параллелограмма, диагональю которого является отрезок, соединяющий данную опорную станцию с диспетчерским пунктом. Это позволяет повысить надежность функционирования систем позиционирования, диспетчеризации и мониторинга подвижных объектов на основе маломощной ретрансляционной сети.

2. Исследованы возможности волновой передачи информации в маломощных ретрансляционных сетях. Установлено, что передачу информации от станции-источника без закликивания по всем радиальным направлениям можно обеспечить с помощью временного и частотного методов: в первом случае защита от закликивания достигается посредством блокировки опорных станций на заданный интервал времени после передачи информации, во втором – посредством монотонного изменения частот передачи опорных станций по радиальным направлениям от станции-источника. Это позволяет упростить модернизацию систем позиционирования, мониторинга и диспетчеризации подвижных объектов на основе маломощной ретрансляционной сети.

3. Исследованы информационные характеристики сетей с волновой передачей информации. Показано, что среднюю скорость волновой передачи информации на основе временного метода можно определить путем вычисления среднего числа тактов последовательной передачи информации как функции вероятностей правильного приема каждой станции при передаче сигналов с любой другой и пространственно-энергетических параметров сети. Полученные результаты позволяют рационально выбирать параметры сетей на основе волновой передачи информации с целью повышения их эффективности.

4. Проведено обобщенное описание телекоммуникационных систем с целью их интеграции. Показано, что обобщенное описание результирующей телекоммуникационной системы определяется обобщенными описаниями интегрируемых телекоммуникационных систем, причем, если системы принадлежат одной и той же надсистеме, то их интеграция целесообразна при условии, что эффективность результирующей системы превысит сумму эффективностей до интеграции; если же системы принадлежат различным надсистемам, то интеграция систем целесообразна при условии, что эффективности каждой из надсистем после интеграции возрастут; при этом множество вариантов решения задачи интеграции зависит, в частности, от степени взаимопроникновения структур систем, которая характеризуется суммой отношений числа трансформируемых вершин и ребер графа структуры каждой из интегрируемых систем к общему числу вершин и ребер этого графа. Полученные результаты создают основу для интеграции систем позиционирования, мониторинга и диспетчеризации

зации подвижных объектов в существующую телекоммуникационную инфраструктуру города с целью повышения эффективности этих систем.

Таким образом, задача исследований, заключающаяся в разработке методов и средств передачи информации в системах позиционирования, мониторинга и диспетчеризации подвижных объектов на основе маломощной ретрансляционной сети, решена.

Основные положения диссертации отражены в следующих публикациях.

1. Урецкий Я.С., Барышников Л.П., Валеев М.А., Купершмидт П.В. Малоэнергетическая радиотелекоммуникационная система позиционирования, мониторинга и диспетчеризации подвижных объектов в урбанизированных условиях. VII Международная научно-техническая конференция «Радиолокация, навигация, связь». Воронеж, 2001. Т. 3, с. 1926-1933.

2. Урецкий Я.С., Барышников Л.П., Валеев М.А., Карловский А.П., Купершмидт П.В. Городская межведомственная система позиционирования, мониторинга и диспетчеризации подвижных объектов. Международная конференция по телекоммуникациям IEEE/ISSC2001/С.- Петербург, 2001, с. 5-10.

3. Урецкий Я.С., Барышников Л.П., Валеев М.А., Купершмидт П.В. Городская межведомственная телекоммуникационная инфраструктура на основе маломощных приемопередающих станций. Международная конференция по телекоммуникациям IEEE/ISSC2001/С.- Петербург, 2001, с. 10-14.

4. Урецкий Я.С., Барышников Л.П., Валеев М.А., Купершмидт П.В. Применение городской малоэнергетической радиотелекоммуникационной сети в задачах диспетчеризации транспортных средств. Труды II Международной научно-практической конференции «Автомобиль и техносфера», Казань, 2001, с. 621-624.

5. Барышников Л.П., Валеев М.А., Купершмидт П.В., Урецкий Я.С., Щербаков Г.И. Малоэнергетическая система позиционирования, мониторинга и диспетчеризации подвижных объектов в городских условиях на основе метода перекрывающихся зон. Электронное приборостроение, Казань, 2002. № 22, с. 18-39.

6. Барышников Л.П., Валеев М.А., Купершмидт П.В., Урецкий Я.С., Щербаков Г.И. Передача информации в городской системе позиционирования, диспетчеризации и мониторинга транспортных средств на основе маломощной радиоретрансляционной сети. Электронное приборостроение, Казань, 2002. № 25, с. 67-80.

7. Барышников Л.П., Валеев М.А., Царев Л.С., Щербаков Г.И. Алгоритмы интеграции двух телекоммуникационных систем. VIII Международная научно-техническая конференция «Радиолокация, навигация, связь». Воронеж, 2002. Т. 2, с. 1165-1169.

8. Барышников Л.П., Валеев М.А., Купершмидт П.В., Шарипов А.Ф., Щербаков Г.И. Повышение качества местоопределения подвижных объектов в условиях города на основе статистической обработки сигналов. Труды Международного симпозиума «Надежность и качество - 2002», Пенза, 2002, с. 209-213.

9. Барышников Л.П., Купершмидт П.В., Щербаков Г.И. Городская система позиционирования, мониторинга и диспетчеризации подвижных объектов на

основе маломощной ретрансляционной сети с волновой передачей информации. Материалы Юбилейной VIII Санкт-Петербургской Международной конференции «Региональная информатика-2002», С.-Петербург, 2002. Ч. 2, с. 26.

10. Барышников Л.П., Купершмидт П.В., Щербаков Г.И. Городская система мониторинга подвижных объектов на основе сети маломощных опорных станций. Сборник материалов II Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы информатики в образовании, управлении, экономики и технике», Пенза 2002, с. 50-61.

11. Патент РФ № 2187895, бюл. № 23 от 20.08.2002. Способ передачи информации на подвижные объекты/Урецкий Я.С., Купершмидт П.В., Барышников Л.П., Ипатьев В.М., Шарипов А.Ф.

12. Патент РФ № 2191475, бюл. № 29 от 20.10.2002. Способ передачи информации на подвижные объекты/Урецкий Я.С., Купершмидт П.В., Барышников Л.П., Валеев М.А.

13. Патент РФ № 2193818, бюл. № 33 от 27.11.2002. Способ передачи информации на подвижные объекты/Урецкий Я.С., Купершмидт П.В., Барышников Л.П., Валеев М.А., Воронина Л.М.

14. Патент РФ № 2195779, бюл. № 34 от 10.12. 2002. Способ определения местоположения подвижного объекта/Урецкий Я.С., Купершмидт П.В., Барышников Л.П., Ипатьев В.М., Щербаков Г.И.

15. Патент РФ № 2195783, бюл. № 34 от 10.12. 2002. Способ определения местоположения подвижного объекта/Урецкий Я.С., Купершмидт П.В., Барышников Л.П., Валеев М.А., Ипатьев В.М.

16. Свидетельство РФ на полезную модель № 19591, бюл. № 25 от 10.09.2001. Система определения местоположения подвижного объекта/Урецкий Я.С., Купершмидт П.В., Барышников Л.П., Валеев М.А., Ипатьев В.М.

17. Свидетельство РФ на полезную модель № 19593, бюл. № 25 от 10.09.2001. Система определения местоположения подвижного объекта/Урецкий Я.С., Купершмидт П.В., Барышников Л.П., Валеев М.А.

18. Свидетельство РФ на полезную модель № 19622, бюл. № 25 от 10.09.2001. Система передачи информации на подвижные объекты/Урецкий Я.С., Купершмидт П.В., Барышников Л.П., Валеев А.К., Воронина Л.М.

19. Свидетельство РФ на полезную модель № 19628, бюл. № 25 от 10.09.2001. Система передачи информации на подвижные объекты/Урецкий Я.С., Купершмидт П.В., Барышников Л.П., Замирович В.В., Щербаков Г.И.

20. Свидетельство РФ на полезную модель № 19629, бюл. № 25 от 10.09.2001. Система определения местоположения подвижного объекта/Урецкий Я.С., Купершмидт П.В., Барышников Л.П., Царев Л.С.

21. Ya.S. Uretsky, L.P. Baryshnikov, M.A. Valeyev, A.P. Karlovsky, and P.V. Kupersmidt. Positioning and monitoring of motor vehicles by the use of municipal radiotelecommunication infrastructure. The 2nd International Conference "Automobile & Technosphere", Kazan, 2001, p. 235-238.